

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie



Optimalizace parametrů svařování pro metodu 121

Welding Parameters Optimization for 121 Welding Method

Student:

Radek Pantlík

Vedoucí práce:

doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Radek Pantlík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Optimalizace parametrů svařování pro metodu 121**
Welding Parameters Optimization for 121 Welding Method

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii aplikovatelnosti metody svařování 121 pro různé typy svarových spojů.
2. Zhodnoťte vliv parametrů svařování na výsledné vlastnosti svarového spoje.
3. Na reálném svarovém spoji proveďte ověření dle bodu 2.
4. Proveďte diskuzi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

Koukal, J., Zmydlený, T. *Svařování*. VŠB-TU Ostrava, 2005.
Turňa, M. *Špeciálne metódy zvarovania*. Alfa, Bratislava, 1989.
Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. ZEROSS, Ostrava, 2001.
Kolektiv autorů. *Materiály a jejich svařitelnost*. ZEROSS, Ostrava, 1999.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 10. 5. 2012


.....

Podpis studenta

Radek Pantlík
Dvořákova 1094
Kopřivnice 74221

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě 10. 5. 2012


.....

Podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PANTLÍK, R. Optimalizace parametrů svařování pro metodu 121: bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

V bakalářské práci je zpracována studie o optimalizaci parametrů svařování pro metodu 121.

V úvodu práce je popsána charakteristika svařování pod tavidlem. Jsou rozpracované různé typy svařovacích podložek a to především u tupých svarových spojů. Dále jsou zhodnoceny vlivy svařovacích parametrů na vlastnosti svarového spoje.

V experimentální části této práce jsou ověřeny svařovací parametry na reálném svarovém spoji a následně vyhodnoceny.

ANNOTATION BACHELOR THESIS

PANTLÍK, R. Welding Parameters Optimization for 121 Welding Method: Bachelor thesis. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Department of Mechanical Technology 2012.

Thesis head: doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

This bachelor thesis includes a study on optimization of welding parameters for the method of 121.

The introduction describes the characteristics of the submerged arc welding. They developed various types of welding washers and especially in butt welded joints. Further evaluation of the influence of welding parameters on weld properties.

In the experimental part of this work are verified by the welding parameters real-welded joints and subsequently evaluated.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí mé bakalářské práce doc. Ing. Drahomíru Schwarzovi, CSc. za poskytnutí tématu této práce a odborných konzultací a Ing. Mojmíru Demelovi za poskytnutí zkušebních materiálů a pomocí vyhodnocení zkušebních vzorků v experimentální části této práce a spousty odborných rad. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě po celou dobu studia stoprocentně podporovala.

Obsah

seznam použitého značení	10
Úvod	11
1 Svařování pod tavidlem – metoda 121	12
1.1 Princip svařování pod tavidlem.....	13
1.2 Výhody a nevýhody svařování metodou 121	14
1.3 Tupé svarové spoje svařované z jedné strany – poloha PA.....	15
1.3.1 Svařování na měděné podložce	15
1.3.2 Svařování na tavidlové podložce	16
1.3.3 Svařování na tavidlové podložce obvodových svarových spojů.....	17
1.3.4 Svařování na měděné podložce s tavidlem	17
1.3.5 Svařování na ocelové podložce	17
1.3.6 Svařování na technologické podložce	18
1.3.7 Svařování na zámek	18
1.3.8 Svařování s podloženým kořenem	19
1.3.9 Svařování na keramické podložce	19
1.4 Tupé svarové spoje svařované z obou stran	19
1.5 Koutové svarové spoje – poloha PB	20
1.6 Zdravotní a bezpečnostní hlediska při svařování	21
2 Vliv parametrů svařování	22
2.1 Vliv svařovacího proudu	23
2.2 Vliv svařovacího napětí.....	24
2.3 Vliv velikosti rychlosti svařování	25
2.4 Vliv výletu elektrody	25
2.5 Vliv úhlu svařovací hlavy.....	26
2.6 vliv množství přidávaného tavidla	26

Bakalářská práce

2.7	Vliv výběru kombinace drát - tavidlo	27
3	Ověření parametrů na reálném svarovém spoji a vliv na vlastnosti svaru	28
3.1	Seznámení praktické části	28
3.2	Charakteristika přídavných svařovacích materiálů.....	29
3.3	Příprava zkušebních vzorků na svařování.....	31
3.4	Svařování se změnou svařovacího proudu.....	32
3.4.1	Vyhodnocení zkušebního vzorku se změnou svařovacího proudu	35
3.5	Svařování se změnou svařovacího napětí.....	38
3.5.1	Vyhodnocení zkušebního vzorku se změnou svařovacího napětí	41
3.6	Svařování se změnou svařovací rychlosti.....	44
3.6.1	Vyhodnocení zkušebního vzorku se změnou svařovací rychlosti.....	47
4	Diskuze dosažených výsledků	50
	Závěr.....	52
	Seznam použité literatury	53
	Seznam obrázků.....	54
	Seznam tabulek	55
	Seznam grafů	56
	Přílohy	57

seznam použitého značení

značka	název	jednotka
A	ampér	
A ₅	tažnost	[%]
EN	evropská norma	
I	proud	[A]
KCV	vrubová houževnatost	[J. cm ⁻²]
MPa	megapascal	
R _e	mez kluzu	[MPa]
R _m	mez pevnosti	[MPa]
SK	svarový kov	
U	napětí	[V]
v _s	rychlost svařování	[cm/min]
ZM	základní materiál	
ψ	součinitel formy svaru	
Ø	průměr	[mm]
121	označení obloukového svařování pod tavidlem	
131	označení obloukového svařování met. MIG	
135	označení obloukového svařování met. MAG	

Úvod

Když před sedmdesáti sedmi lety v USA byly položeny základy technickému vývoji obloukového svařování pod tavidlem, málo kdo tušil, že tato metoda svařování nalezne takové univerzální využití. A to jak při svařování nelegovaných tak legovaných ocelí.

Dnes je svařování pod tavidlem charakterizováno celou řadou modifikací, odlišujících se podle druhu přídavných materiálů. V současné době tato metoda svařování je velmi využívána ve strojírenství, v dopravě, stavebnictví a mnoho dalších odvětvích.

Svařování touto metodou vyžaduje stále vyšší požadavky. A to jak na kvalitu svaru, tak na bezpečnost při svařování.

Zákazníci dnes vybírají výrobky s možností velké konkurence a na základě ceny a kvality se rozhodují. Proto je důležité, aby svařence byly ekonomické, bezpečné a včas vyrobené.

1 Svařování pod tavidlem – metoda 121

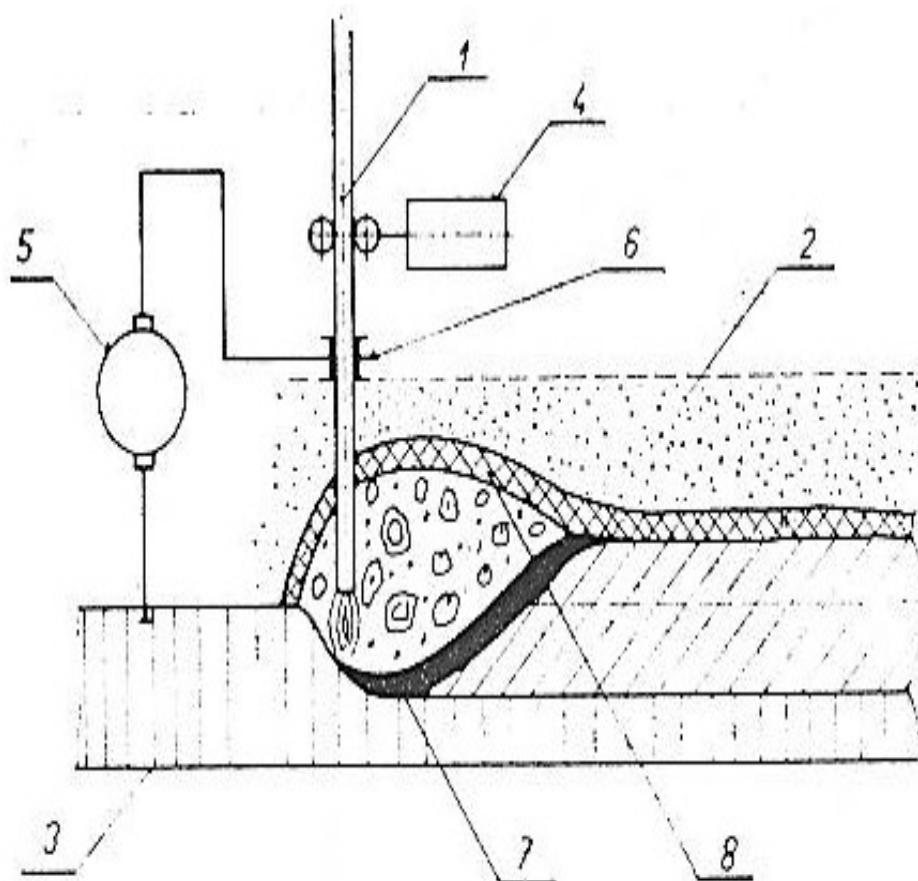
„Svařování pod tavidlem (metoda 121) je způsob svařování, při kterém teplo potřebné k roztavení přídavného i základního materiálu, vzniká elektrickým obloukem, hořícím mezi elektrodou (drátem) a základním materiálem. Vrstva zrnitého materiálu, označována jako tavidlo, pokrývá konec svařovacího drátu s hořícím obloukem i okolní základní materiál. Není vidět žádný oblouk, jiskry, rozstřík ani dým při svařování. Elektrodou může být plný drát, plněná elektroda nebo svařovací páska.“

„Svařování metodou 121 je především mechanizovaný svařovací proces. Svařovací proud, napětí na oblouku a svařovací rychlost ovlivňují profil svarové housenky, hloubku průvaru i chemické složení svarového kovu. I když operátor může ovlivnit svarovou lázeň, je velmi důležité seřízení a polohování elektrody.“ [1]



Obr 1. Svařování pod tavidlem (vlastní foto)

1.1 Princip svařování pod tavidlem



Obr 2. Princip svařování pod tavidlem [2]

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 | svařovací drát |
| 2 | tavidlo |
| 3 | základní materiál |
| 4 | podávací mechanismus svářecího drátu |
| 5 | zdroj svařovacího proudu |
| 6 | přívod proudu do elektřiny |
| 7 | roztavený svarový kov |
| 8 | roztavená struska |

1.2 Výhody a nevýhody svařováním metodou 121

Metoda svařování elektrickým obloukem pod tavidlem byla vyvinuta za účelem zvýšení množství odtavovaného svarového kovu. Tato metoda svařování má řadu výhod ale také nevýhod. [2]

Výhody svařováním pod tavidlem:

- a) vysoká produktivita svařování,
- b) velký průvar do základního materiálu,
- c) hořící oblouk pod vrstvou tavidla neoslňuje okolí, obsluha nemusí mít ochranný štít nebo kuklu,
- d) při svařování nevznikají do okolí škodlivé zplodiny, snižují se tak náklady na odsávání vzduchu,
- e) pěkný vzhled svaru,
- f) zvýšená kvalita svaru,
- g) menší praktické nároky na obsluhu.

Nevýhody svařováním pod tavidlem:

- a) zakrytý svařovací proces a obtížnost jeho kontroly,
- b) vysoké nároky na čistotu základního a přídavného materiálu,
- c) možnost svařování pouze v polohách PA nebo PB podle ČSN EN ISO 6947,
- d) upravit svarové plochy u plechů silnějších než 16 mm,
- e) nelze svařovat plechy tenčí než 1,8 mm.

Dále lze metodu svařování 121 charakterizovat takto:

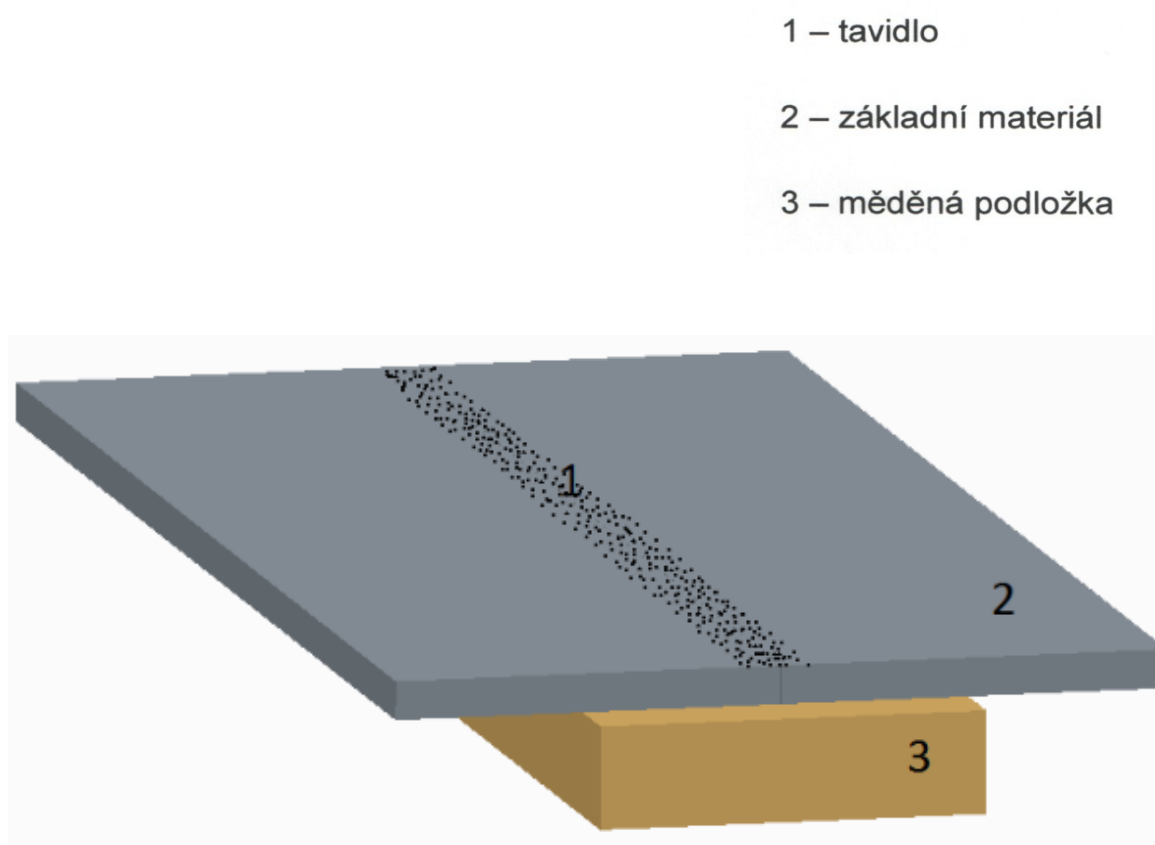
- | | |
|--|--------------------------|
| - minimální ekonomická délka svaru: | nad 1000mm, |
| - rozsah používaného svařovacího proudu: | 200 až 2000A, |
| - rozsah napětí na oblouku: | 20 až 50V, |
| - rozsah svařovací rychlosti: | 15 až 120m/h, |
| - druh používaného svařovacího proudu: | střídavý i stejnosměrný, |
| - průměr přídavného materiálu (drátu): | 2,0 až 8,0mm. |

1.3 Tupé svarové spoje svařované z jedné strany – poloha PA

Tupé svarové spoje lze svařovat z jedné strany až do tloušťky 15mm. U těchto spojů lze docílit velkého průvaru. Před svařováním těchto spojů je vhodné upravit svarové úkoso. Velká svarová mezera ovlivní převýšení svarového kovu. Aby bylo možné zachytit roztavený svarový kov (vzniká tavením základního a přídavného materiálu [3]) a roztavené tavidlo, používají se různé druhy podložek:

1.3.1 Svařování na měděné podložce

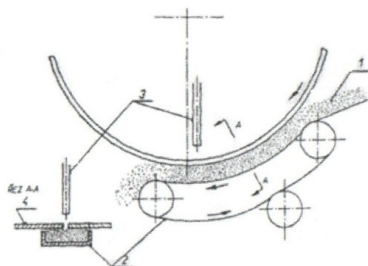
Při svařování slabších plechů do síly 3 mm se svařuje pomocí měděné podložky.



Obr 3. Princip svařování na měděné podložce (vlastní model)

1.3.3 Svařování na tavidlové podložce obvodových svarových spojů

Tento způsob se používá především při svařování tlakových nádob větších průměrů.



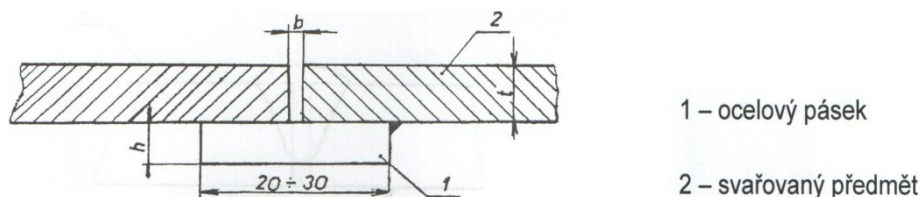
Obr 5. Princip svařování obvodových svarů na tavidlové podložce

1.3.4 Svařování na měděné podložce s tavidlem

Základní materiál je položen na měděnou podložku, která zabraňuje přesypávání tavidla ze svarového spoje. Měděná podložka po svařování lze velmi dobře odejmout od základního materiálu.

1.3.5 Svařování na ocelové podložce

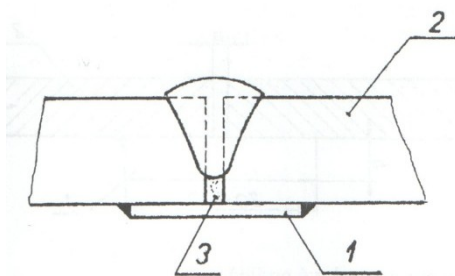
Pokud nelze použít tavidlovou nebo měděnou podložku, využívá se ocelové podložky. Lze použít do tloušťky plechů do 10 mm. Ocelová podložka (ocelový pásek), je přistehován ke svařovaným plechům ze strany kořene. Ocelová podložka se při svařování částečně protaví. V závislosti na tloušťce svarových plechů se doporučuje vhodná mezera mezi podloženým páskem a základním materiálem v místě svarového spoje.



Obr 6. Princip svařování na ocelové podložce

1.3.6 Svařování na technologické podložce

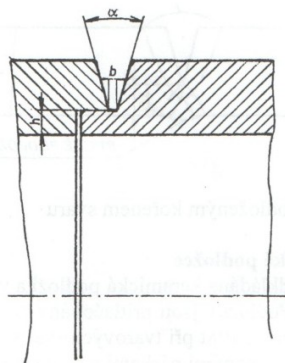
Je to způsob svařování pomocí tenkých plechů. Používá se v případech, kde nejsou vhodné tavidlové podložky. Přistehované tenké plechy k základnímu materiálu zachycují tavidlo. Plechová podložka se odstraní po zavaření první housenky. Druhá housenka se provede z druhé strany.



Obr 7. Princip svařování na technologické podložce

1.3.7 Svařování na zámek

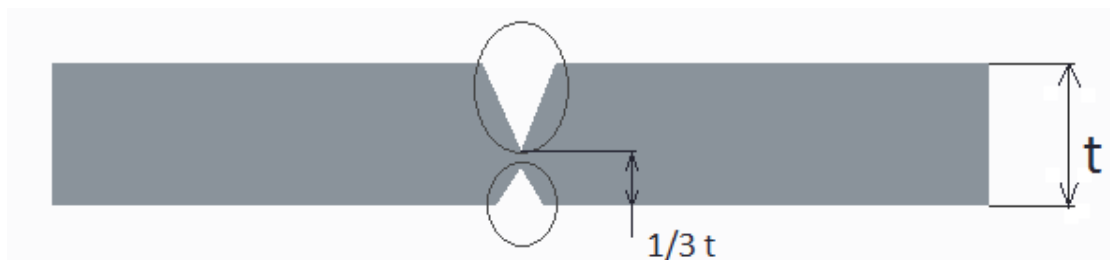
Kořen svaru je podložen tzv. zámkem. Tento konstrukční způsob úpravy podložení kořene svaru se využívá u jednostranných svarových spojů a u válcových nádob. Tloušťka zámku je závislá na parametrech svařování. Zámek nesmí být protaven víc jak polovina jeho síly. Je důležité dodržet vhodnou kořenovou mezeru. Pro dynamicky namáhané svarové spoje, tento způsob konstrukčního řešení není vhodný.



Obr 8. Princip svařování tzv. na zámek

1.3.8 Svařování s podloženým kořenem

Tento způsob podkládání kořene není příliš ekonomický. Vyvařený kořen nesmí přesáhnout víc jak 20% síly svařovaného spoje. V opačném případě se nejedná o svarový spoj svařovaný pod tavidlem.



Obr 9. Svařování s ručně podloženým kořenem svaru (vlastní model)

1.3.9 Svařování na keramické podložce

Pro zajištění plného průvaru svařováním pod tavidlem lze použít keramickou podložku. Keramická podložka je přitlačena ke svaru ze spodní strany. Nevýhodou metody je vysoká cena keramické podložky, protože keramickou podložku lze použít jen jednou. [4]

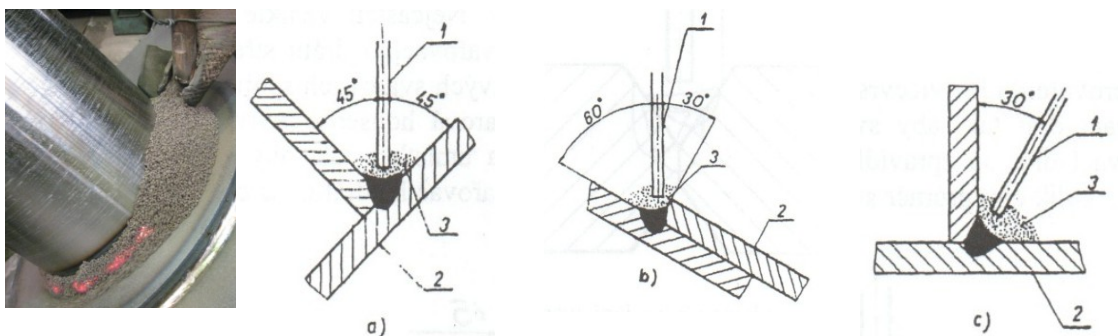
1.4 Tupé svarové spoje svařované z obou stran

Rozměr otupení u těchto svarových spojů je mnohem větší než při metodě 131 nebo 135. Mezera v kořeni je minimální nebo nulová. U první svarové housenky je hloubka průvaru asi ze $2/3$ otupení. Po zavaření první svarové housenky se provede svarová housenka z druhé strany. Vrstva tavidla zabraňuje protečení svarového kovu. Při svařování vícevrstevných svarových spojů se umísťuje svařovací drát tak, aby průměr svařovacího drátu byl shodný s roztečí svařovacího drátu a hranou poslední svařovanou housenkou. [4]

1.5 Koutové svarové spoje – poloha PB

- svařování v poloze PB (vodorovná šikmo shora)

Využívá se, pokud se má dosáhnout rovnoměrného průvaru obou svařovaných částí (obr. 10 c). Také se dá svařovat, pokud chceme dosáhnout výrazného průvaru do jedné z obou částí. U této svařovací polohy se také zabraňuje vytékání svarového kovu a roztaveného tavidla ze svarové mezery.



Obr 10. Svařování koutových svaru

- a) se souměrným postavením stěn, b) s nesouměrným postavením stěn, c) svařování ve vertikální poloze se skloněnou elektrodou

Při svařování v této poloze se dají také využívat různé podložky. Jako např. na měděné podložce s tavidlem, s podloženým kořenem svaru nebo pomocí zachycení tavidla izolační šňůrou nebo páskou.

- svařování se skloněným svařovacím drátem (obr. 10 b)

Svařováním koutových svarů se skloněným drátem je možné vytvořit jednou svarovou housenkou svar o rozměru 6 mm. Výhodné pro nepřesné dodržení velikosti mezery mezi svařovanými plechy. Elektroda je vedena přesně mezi plechy. V opačném případě dochází k neprovařeným spojům nebo k podřezání základního materiálu. Úhel sklonu drátu od vertikální osy se volí od 20 až 30°. [4]

1.6 Zdravotní a bezpečnostní hlediska při svařování

Při svařování pod tavidlem se jedná o svařování elektrickým obloukem. Je důležité proto dbát bezpečnostních předpisů podle ČSN 05 0630.

Pracovník, který svařuje metodou 121 je považován podle norem EN za operátora a musí být vyškolen podle normy ČSN EN 1418.

Při svařování pod tavidlem oblouk hoří pod vrstvou tavidla a zároveň kryje toto tavidlo světelnou zář. Proto není důležité, aby si operátor kryl oči ochranou kuklou nebo štítem. Také není důležité svářečské pracoviště chránit ochrannou zástěnou.

Operátor musí být vybaven kvalitním nehořlavým pracovním oděvem a kvalitní obuvi, neboť při svařování především obvodových svarů hrozí přetečení svarové lázně a tak vzniknutí možnosti úrazu popálením.

Další možnosti úrazu při svařování vzniká úrazem elektrickým proudem. Je třeba vždy dodržovat bezpečnostní pokyny.

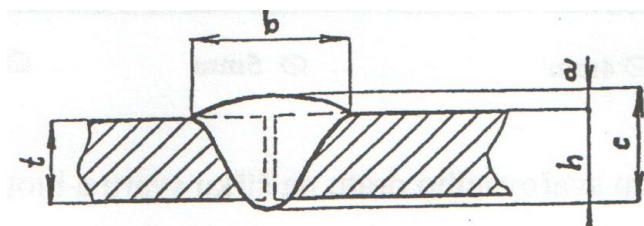
Aby se předcházelo k těmto a dalším jiným úrazům při svařování pod tavidlem, musí být obsluha – operátor řádně vyškolen ve specializačním kurzu. [5]

2 Vliv parametrů svařování

Volba svařovacích parametrů a přídavných materiálů se provádí tak, aby výsledné chemické složení svarového kovu a mechanické hodnoty svarového kovu byly co nejbližší k hodnotám a vlastnostem svařovaného základního materiálu.

Chemické složení, struktura a mechanické vlastnosti svarového spoje závisí do značné míry na součiniteli formy svaru Ψ . Hlavní vliv na rozměry svaru a formu svaru má množství uvolněného tepla v elektrickém oblouku, které je funkcí svařovacího proudu, svařovacího napětí a rychlosti svařování. [2]

Forma svaru charakterizující rozměry je na obr. 12. Na obrázku je vidět převýšení svaru „a“, šířka svaru „b“, celková tloušťka svaru „c“ = h + a, průvar do základního materiálu „h“ a součinitel formy svaru Ψ .
$$\Psi = \frac{b}{c}$$



Obr 11. Charakteristické rozměry svaru

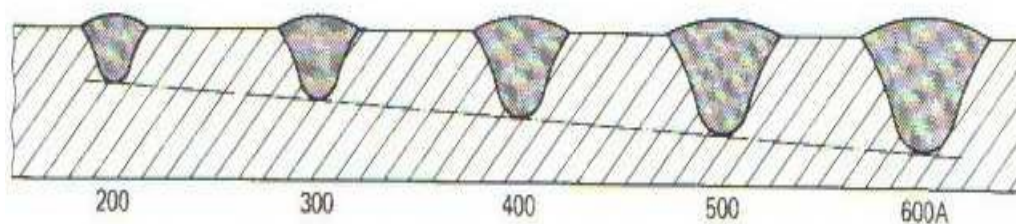
Na velikost svaru mají vliv především:

a) hlavní parametry	svařovací proud	I (A)
	napětí na oblouku	U (V)
	rychlost svařování	v_s (m/h)
b) vedlejší parametry	průměr svařovacího drátu	(mm)
	sklon elektrody	(°)
	sklon základního materiálu	(°)
	výlet drátu	(mm)
	druh tavidla a jeho zrnitost	
	charakter svařovacího proudu a jeho polarita.	

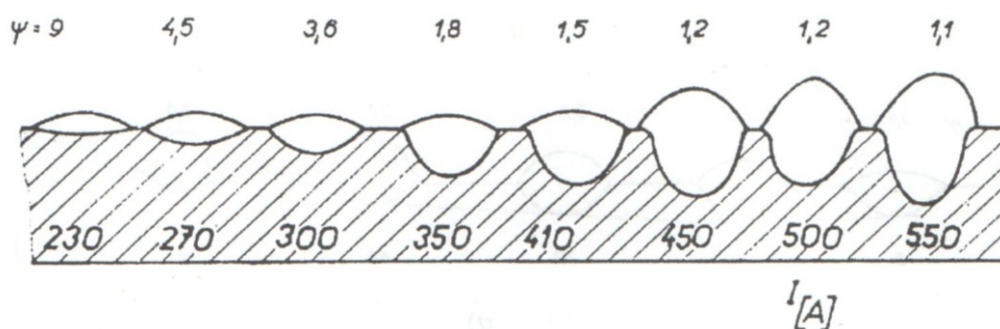
2.1 Vliv svařovacího proudu

Svařovací proud má největší vliv na svařování. Pokud je svařovací proud příliš vysoký, hloubka závaru je velká a svar může protavit podložku. Příliš vysoký svařovací proud vytvoří nadměrný převýšený svar, ztrátu svařovacího drátu a také ztrátu elektrické energie. Pokud je svařovací proud velmi nízký, vytvoří nedostatečnou penetraci a propadlý svar. [1] Vliv velikosti svařovacího proudu na profil svaru je zobrazen na obr. 12

Svařovací proud ovlivňuje přímo úměrně množství nataveného kovu. Je to veličina přímo závislá na rychlosti podávání drátu. Pokud vzniká hlubší průvar do základního materiálu, tak se zmenšuje součinitel formy svaru Ψ a převýšení svarového kovu se zvyšuje. [2]



Obr 12. Vliv velikosti svařovacího proudu na profil svaru

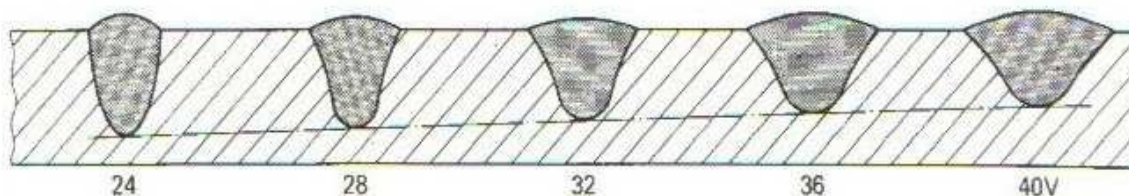


Obr 13. Vliv velikosti svařovacího proudu na změnu formy svaru

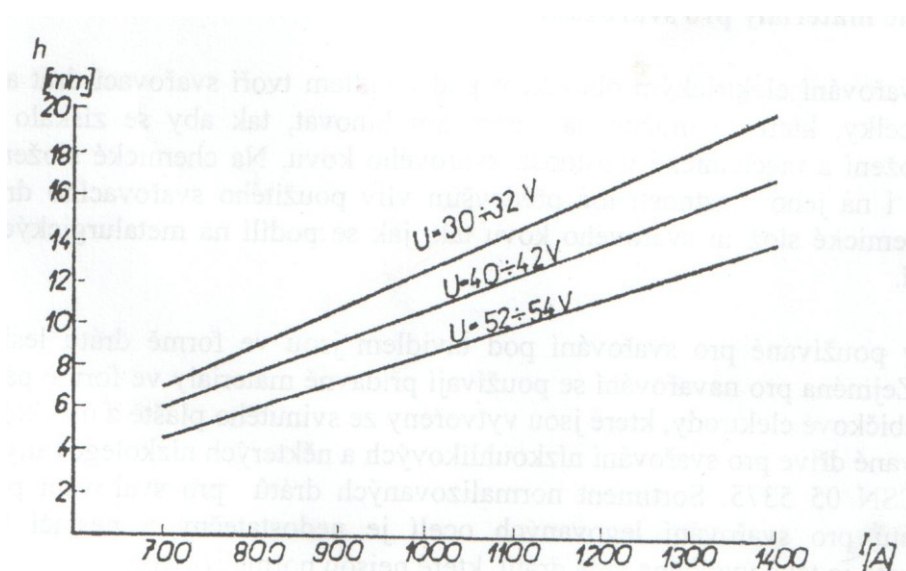
2.2 Vliv svařovacího napětí

Svařovací napětí má vliv na šířku svarové housenky. Při zvyšování napětí v elektrickém oblouku působí teplo na větší plochu základního materiálu a tím se hloubka protavení zmenšuje. Šířka svarové housenky se zvětšuje. Napětí se určuje od velikosti svařovacího proudu a to tak, aby bylo dosaženo vhodného součinitele formy svaru Φ .

Svařovací napětí se mění s délkou mezery mezi svařovacím drátem a roztaveným kovem. Jestliže se tato mezera zvětšuje, roste rovněž svařovací napětí a obráceně: jestliže se velikost mezery zmenšuje, snižuje se i svařovací napětí. [1]



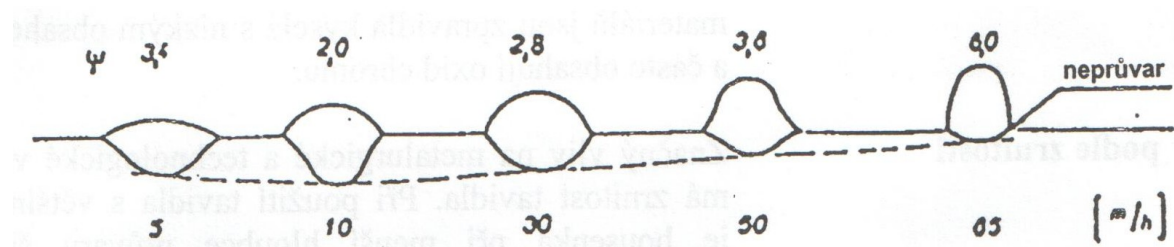
Obr 14. Vliv velikosti svařovacího proudu na profil svaru



Obr 15. Vliv velikosti napětí na hloubku průvaru, v_s , 20m/hod, drát o průměru 5 mm

2.3 Vliv velikosti rychlosti svařování

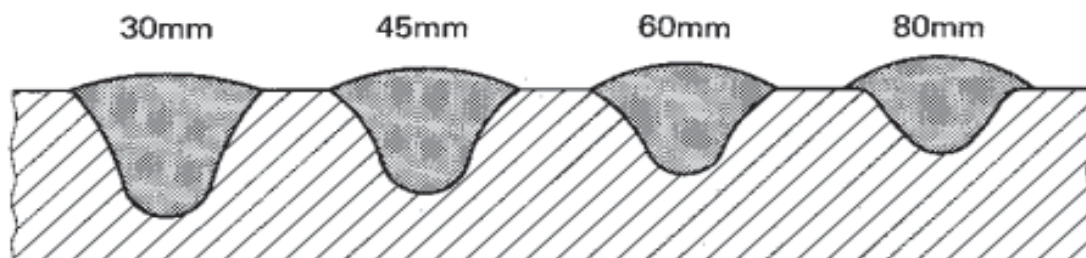
Při konstantním svařovacím proudu a svařovacím napětí na oblouku, se změnou rychlosti svařování mění množství tepla - připadající na jednotkovou délku svaru. Při vysoké rychlosti svařování se neprotaví základní materiál. Při nízké rychlosti svařování může dojít k protavení základního materiálu. Na obrázku 17 lze pozorovat změnu součinitele svaru při různých rychlostech.



Obr 16. Vliv rychlosti svařování na koeficient formy svaru [2]

2.4 Vliv výletu elektrody

Je to vzdálenost mezi svařovaným dílem a koncem kontaktní špičky. Obvykle se pohybuje mezi 20 až 40 mm, podle průměru použitého drátu. Pokud je výlet drátu příliš velký, průvar není dostatečný. [1]

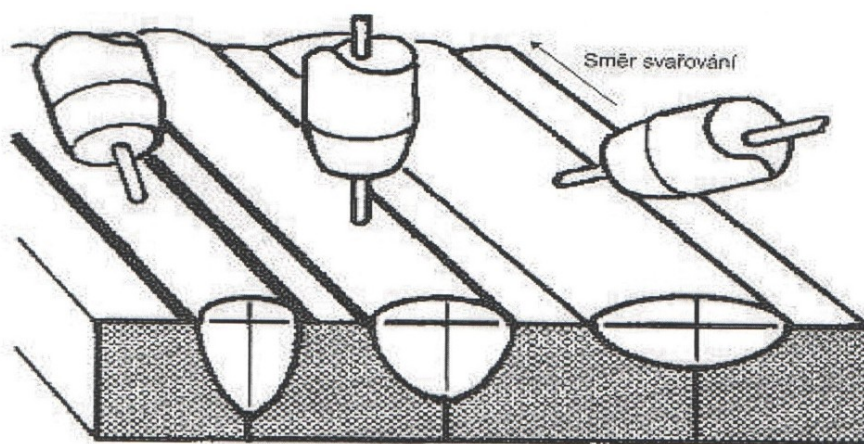


Obr 17. Vliv výletu drátu na profil svaru

2.5 Vliv úhlu svařovací hlavy

Technika svařování úhlem dozadu. Tímto způsobem svařování lze získat vyšší hloubku protavení základního materiálu (penetraci), také užší svar a větší převýšení. Při této metodě vzniká velké nebezpečí vzniku vrubů.

Technika s úhlem dopředu umožňuje širší svar s menším převýšením. Protavení základního materiálu je nižší. Vruby u této metody se vyskytují méně často. Jaký má vliv úhlu svařovací hlavy na svařování, ukazuje obr. 19.



Obr 18. Úhel svařovací hlavy

- metoda úhlem dozadu
- neutrální poloha svařovací hlavy
- metoda úhlem dopředu

2.6 vliv množství přidávaného tavidla

Pokud je vrstva přidávaného tavidla nedostačující, tak svarová lázeň není dostatečně ochráněná. Hoření elektrického oblouku bude nestabilní a hrozí i oslnění obsluhy záblesky oblouku. Ve svaru se tak budou vyskytovat póry, rozstřík a bude mít špatný vzhled.

Pokud vrstva přidávaného tavidla bude příliš vysoká, vznikne hrubý povrch housenky. Optimální vrstva tavidla je pro každé podmínky svařování odlišná. Je vhodné vrstvu přidávaného tavidla odzkoušet a to během svařování.

2.7 Vliv výběru kombinace drát - tavidlo

Volbou těchto přídatných materiálů ovlivňuje mnoho faktorů. Rozhodující jsou požadavky na zajištění minimálních hodnot vrubové houževnatosti resp. nárazové práce svarových spojů, především při minusových teplotách. Rozhodujícím faktorem je také bazicita tavidla a připojený drát s vhodným chemickým složením.

Požadavky na vlastnosti svarového kovu se odvodí z požadavků na mechanické vlastnosti svarového spoje. A to z potřebné hodnoty meze kluzu, meze pevnosti a požadované vrubové houževnatosti. Vlastnosti svarového spoje by měly být, pokud možno co nejbližší vlastnostem základního materiálu.

V úvahu je nutno vzít především:

- chemické složení svařovacího drátu, u nelegovaných ocelí hlavně s ohledem na obsah uhlíku, křemíku a manganu,
- možnost dolegování některých prvků při stanovených podmínkách svařování s konkrétním tavidlem,
- obsah manganu v základním materiálu a charakter promísení podle typu spoje. [1]

Experimentální část

3 Ověření parametrů na reálném svarovém spoji a vliv na vlastnosti svaru

3.1 Seznámení praktické části

V experimentální části této práce bylo snahou optimalizovat svařovací parametry při svařování tupého spoje metodou 121 za použití tavidla OK FLUX 10.72 s kombinací se svařovacím drátem OK AUTROD 12.20.

V praxi je svařována tloušťka 12 mm, svarem 8 II + 4 Y. Svar 8 II byl optimalizován na zkušební desce o síle 14 mm. To aby nedošlo k protavení materiálu při zvyšování svařovacích parametrů.

Svařování bylo provedeno na svařovacím podélném automatu. Během svařování se na každé ze zkušebních desek měnil:

- svařovací proud I
- svařovací napětí U
- rychlost svařování v_s .

Svarové spoje se vyhodnotily vizuální a makroskopickou zkouškou. Na každé ze zkušebních desek vznikly tři vzorky. Na základě dosažených výsledků bylo zhodnoceno, jestli měněné parametry byly vhodně optimalizovány.

Cílem této práce je optimalizovat svařovací parametry tak, aby bylo dosaženo zvýšení hloubky průvaru a také snížení převýšení svarového spoje a tím snížení spotřeby svařovacího drátu. Také je vhodné optimalizovat svařovací parametry tak, aby se zvýšila produktivita práce, to znamená rychlejší svařování při zachování požadované hloubky průvaru. V neposlední řadě je také vhodné zachovat pěknou kresbu svarového spoje, která je důležitá pro celkový vizuální vzhled svarového spoje.

3.2 Charakteristika přídatných svařovacích materiálů

Při experimentálním pokusu bylo použito bazické tavidlo OK FLUX 10.72. Je určeno mimo jiné pro aplikace a požadavky na vysokou vrubovou houževnatost svarového kovu při teplotách až - 50°C. Je použitelné pro jednovrstvé i vícevrstvé svary, prováděné jedním nebo více dráty. Tavidlo lze použít pro střídavý i stejnosměrný proud. Velmi dobře se odstraňuje struska ze svarového kovu.

Z ekonomického hlediska výrobce ESAB udává orientační spotřebu experimentálního tavidla. Při svařování s 580A se svařovacím drátem o průměru 4 mm, rychlosti 33m/h a dodržení napětí 34V se udává spotřeba 1,3 kg tavidla. Tavidlo je dodáváno v papírových pytlích o hmotnosti 25 kg.



Obr 19. Tavidlo OK FLUX 10.72 (vlastní foto)

Dále byl použit svařovací drát OK AUTROD 12.20. (obr. 20), který je se svými charakteristickými vlastnostmi vhodný v kombinaci tavidla OK FLUX 10.72. Je to poměděný drát, vhodný také pro elektrostruskové svařování konstrukčních nelegovaných ocelí a to až do pevnosti 500MPa v kombinaci uvedeného tavidla. Typické chemické složení drátu naznačuje Tab. 1.

Tab. 1: Chemické složení drátu OK AUTROD 12.20

C (hm. %)	Si (hm. %)	Mn (hm. %)
0,1	> 0.10	1



Obr 20. Svařovací drát OK AUTROD 12.20 (vlastní foto)

Typické mechanické a chemické složení svarového kovu při použití drátu OK AUTROD 12.20 s tavidlem OK FLUX 10.72 ukazuje Tab. 2 a Tab. 3. [1]

Tab. 2: Typické mechanické vlastnosti svarového kovu v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.72 a svařovacím drátem OK AUTROD 12.20

	Rm	Re	A5	KV (J)/°C			
	MPa	MPa	%	-30	-40	-50	-60
Stav po svařování	500	415	30	125	100	70	50
Stav po žihání 620°C/1h	460	360	30	130	110	70	50

Tab. 3: Typické chemické složení svarového kovu v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.72 a svařovacím drátem OK AUTROD 12.20

C (hm. %)	Si (hm. %)	Mn (hm. %)
0,05	0,2	1,5

Drát a tavidlo je odzkoušené a schválené WPQR - číslo TNCZ-30-VP 007/12. Tato WPQR byla dozorována a schválena firmou TÜV NORD Czech, s.r.o.

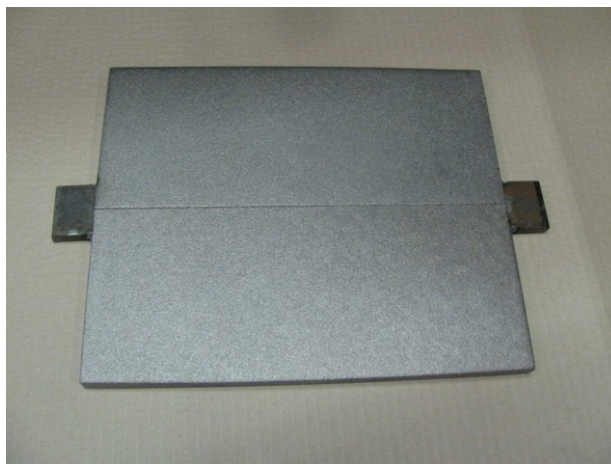
3.3 Příprava zkušebních vzorků na svařování

Zkušební vzorky byly připraveny z oceli S355J2. Jedná se o nelegovanou jakostní konstrukční ocel. Tato ocel je vhodná ke svařování.

Vzorky o tloušťce 14 mm byly nařezány na rozměr 350 x 150 mm. ČSN EN ISO 15614-1. Byla provedena úprava povrchu (obr. 21), aby se předcházelo nežádoucím účinkům při svařování. Svarové hrany byly strojně opracovány. Následovalo nastehování nájezdových destiček. Připravený zkušební vzorek ukazuje obr. 22.



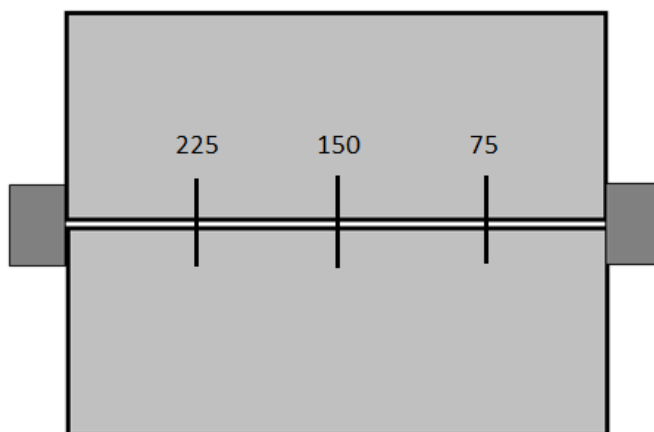
Obr 21. Úprava povrchu zkušebních vzorků na tryskacím zařízení



Obr 22. Zkušební vzorek připravený na svařování

3.4 Svařování se změnou svařovacího proudu

Zkušební deska č. 1 byla označená třemi místy. Na těchto místech se během svařování změnil svařovací proud, ostatní parametry zůstaly konstantní (resp. neměnily se, pouze se odečítaly). Na označených místech vznikly tři vzorky, které se vyhodnotily.



Obr 23. Zkušební deska č. 1

Před začátkem svařování byly na svařovacím automatu nastaveny svařovací parametry, které odpovídají parametrům pro svařování tupého spoje 8 II. (Tab. 4).

Tab. 4: Svařovací parametry pro svařování tupého spoje 8 II

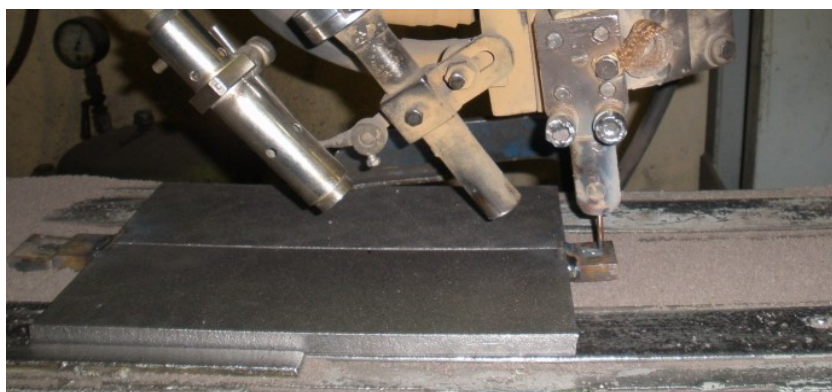
Svařovací proud I (A)	Svařovací napětí U (V)	Rychlost svařování (cm/min.)	Výlet drátu (mm)	Sklon svařovacího hořáku (°)
660-680	34-36	61	28	0

Na těchto parametrech se začala svařovat první zkušební deska od nájezdové destičky (obr 24). V prvním označeném místě se změnil svařovací proud ovladačem na hodnotu 690 – 710 A, v dalším místě na hodnotu 740 – 760 A. Svařování se ukončilo na dojezdové destičce. Případné změny ostatních svařovacích parametrů jsou zaznamenány v Tab. 5.

Nastavené a odečtené svařovací parametry z průběhu svařování 1. zkušební desky ukazuje Tab. 5. A

Tab. 5: Nastavené parametry z průběhu svařování 1. zkušební desky

Vzorek číslo:	Svařovací proud I (A)	Svařovací napětí U (V)	Rychlost svařování (cm/min.)	Výlet drátu (mm)	Sklon svařovacího hořáku (°)
1.	660-680	34-36	61	28	0
2.	690-710	34-35	61	28	0
3.	740-760	33-34	61	28	0

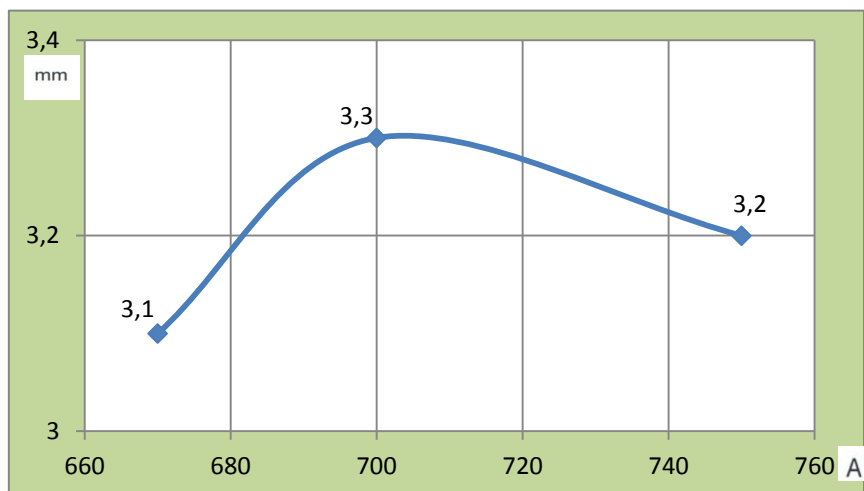


Obr 24. Zkušební deska na tavidlové podložce

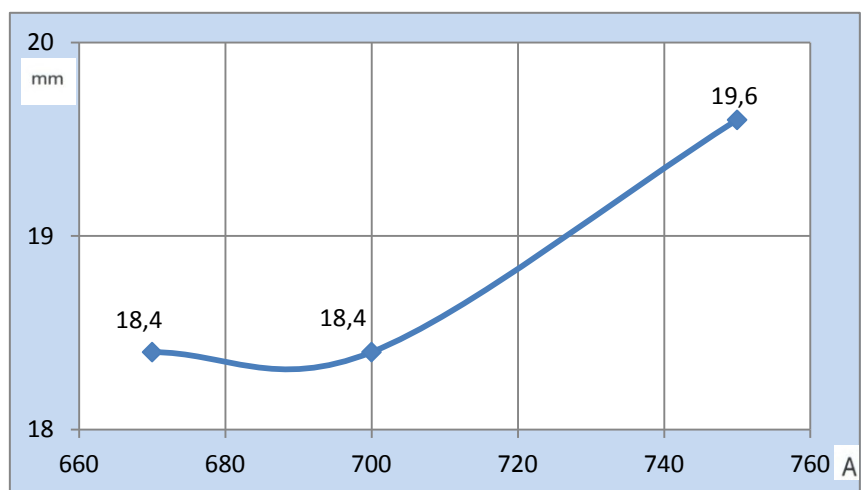


Obr 25. Zavařená zkušební deska s proměnným svařovacím proudem

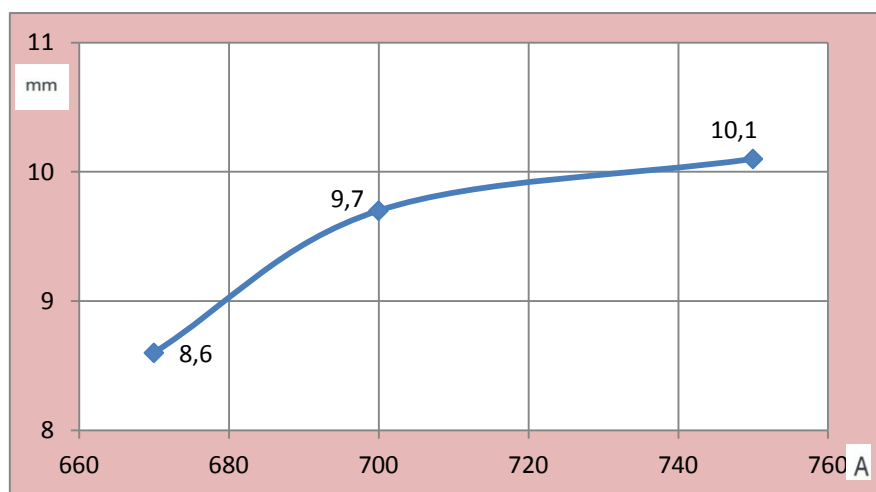
Graf 1: Výška svaru v závislosti na proud



Graf 2: Šířka svaru v závislosti na proud



Graf 3: Hloubka závaru v závislosti na proud



3.4.1 Vyhodnocení zkušebního vzorku se změnou svařovacího proudu

Tab. 6: Hodnocení průběhu svařování se změnou svařovacího proudu

Hodnocení průběhu svařování					
Vzorek číslo:	Zvuk při hoření oblouku	Odstranitelnost strusky	Stabilita hoření oblouku (kolísání svařovacích parametrů)	Vyhodnocení průběhu svařování	Vliv změny I na průběh svařování oproti používaným svařovacím parametrům:
1.	klidný, šumivý	dobrá	stabilní	svařovací parametry jsou použitelné	běžně používané svařovací parametry
2.	klidný, šumivý	dobrá	stabilní	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna
3.	klidný, šumivý	dobrá	stabilní	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna

Tab. 7: Vizuální hodnocení povrchu svarů se změnou svařovacího proudu

Vizuální hodnocení povrchu svarů						
Vzorek číslo:	Plynulost kresby svaru: (plynulá / nepravidelná)	Kresba povrchu svaru (hladký svar / šípovitý)	Zápal (mm)	Přechod mezi svarem a základním materiálem (plynulý / ostrý)	Vyhodnocení vizuálního hodnocení svaru	Vliv změny I na povrch svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:
1.	plynulá	"šípovitý"	0	plynulý	svařovací parametry jsou použitelné	běžně používané svařovací parametry
2.	plynulá	"šípovitý"	0	plynulý	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna
3.	plynulá	"šípovitý"	0	plynulý	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna

Tab. 8: Měření a hodnocení makrostruktury svarového spoje vzorku 1,2,3

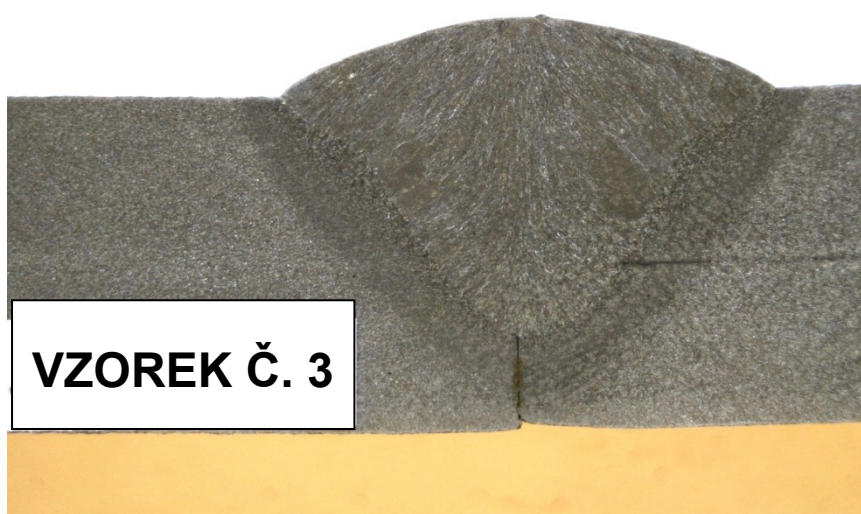
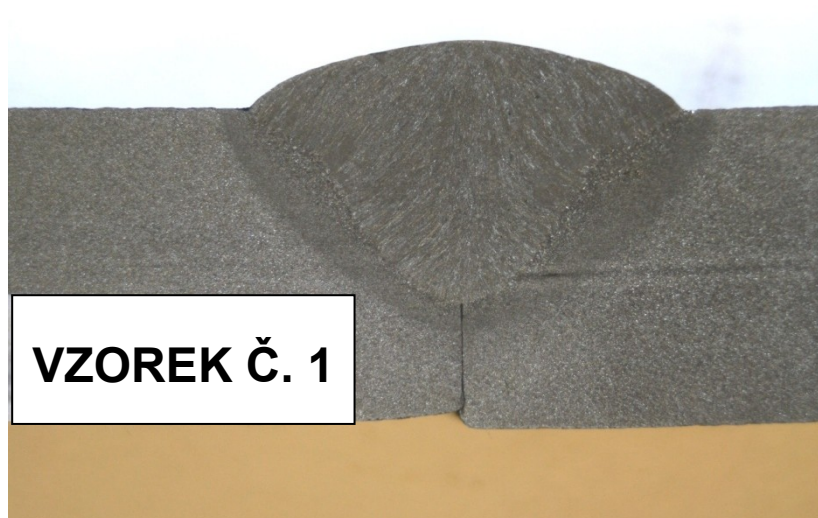
Měření a hodnocení makrostruktury svarového spoje						
Vzorek číslo:	Vnitřní vady (póry, neprůvratné studé spoje ...)	Šířka svaru	Výška svaru	Hloubka a závaru (min. 8 mm)	Důležitá změna vyplývající z naměřených hodnot:	Vliv změny svařovacího proudu na makrostrukturu svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:
1.	bez vad	18,4	3,1	8,6	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry
2.	bez vad	18,4	3,3	9,7	vyšší svařovacím proudem dosáhneme větší hloubku závaru	větší hloubka závaru
3.	bez vad	19,6	3,2	10,1	vyšší svařovacím proudem dosáhneme větší hloubku závaru	větší hloubka závaru

Záznam o měření makrostruktury svarového spoje se nachází v příloze č. 1

Tab. 9: Celkové hodnocení vlivu svařovacího proudu na vlastnosti svarového spoje

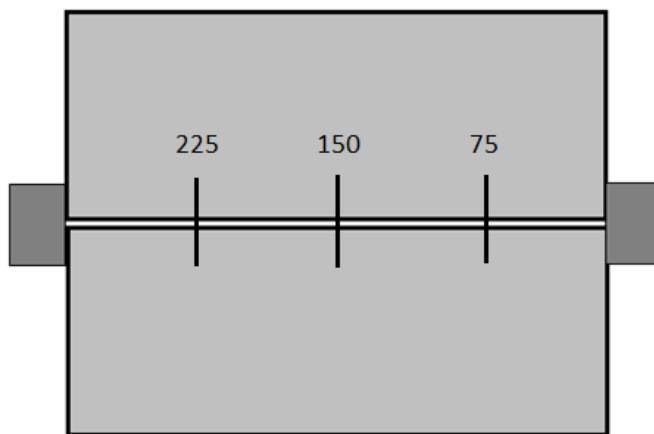
Celkové hodnocení vlivu svařovacího proudu na vlastnosti svarového spoje:					
Vzorek číslo:	Proměnný svařovací parametr:	Vliv změny I na průběh svařování oproti používaným svařovacím parametrům:	Vliv změny I na povrch svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:	Vliv změny I na makrostrukturu svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:	Celkové vyhodnocení:
1.	svařovací proud	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry
2.	zvýšení svař. proudu	žádná výrazná změna	žádná výrazná změna	větší hloubka závaru	bylo dosaženo lepších výsledků
3.	zvýšení svař. proudu	žádná výrazná změna	žádná výrazná změna	větší hloubka závaru	bylo dosaženo lepších výsledků

Fotografie makrostruktury svarového spoje vzorku 1, 2, 3 se nachází na následující stránce.



3.5 Svařování se změnou svařovacího napětí

Zkušební deska č. 2 byla označená třemi místy. Na těchto označených místech se během svařování změnilo svařovací napětí. Ostatní parametry zůstaly konstantní (resp. neměnily se, pouze se odečítaly).



Obr 26. Zkušební deska č 2

Před začátkem svařování byly na svařovacím automatu nastaveny svařovací parametry, které odpovídají parametrům pro svařování tupého spoje 8 II. Na podélném svařovacím automatu vyhovuje těmto parametrům ukazatele potenciometru ovladače na $I = 8.1$, $U = 7.5$, $v_s = 62$. Nastavené parametry ukazuje Tab. 10.

Tab. 10: Běžné svařovací parametry pro svařování tupého spoje 8 II

Svařovací proud I (A)	Svařovací napětí U (V)	Rychlost svařování (cm/min.)	Výlet drátu (mm)	Sklon svařovacího hořáku ($^{\circ}$)
660-680	34-36	61	28	0

Na těchto parametrech se začala svařovat druhá zkušební deska od nájezdové destičky. V prvním označeném místě se změnilo svařovací napětí ovladačem na hodnotu 36-38 V, v dalším místě na hodnotu 38-42 V. Svařování se ukončilo na dojezdové destičce.

Nastavené parametry z průběhu svařování zkušební desky ukazuje Tab. 11.

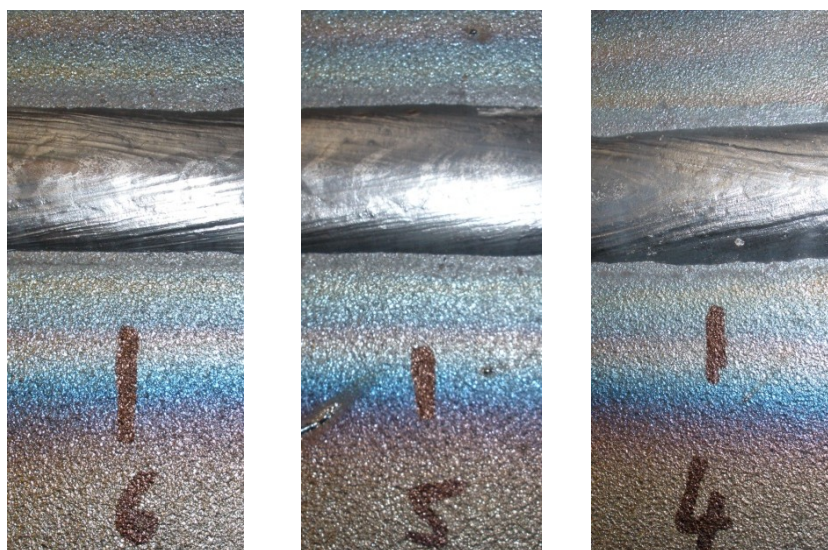
Tab. 11: Nastavené parametry z průběhu svařování 2. zkušební desky

Vzorek číslo:	Svařovací proud I (A)	Svařovací napětí U (V)	Rychlost svařování (cm/min.)	Výlet drátu (mm)	Sklon svařovacího hořáku (°)
4.	660-680	34-36	61	28	0
5.	660-680	36-38	61	28	0
6.	660-680	38-42	61	28	0

Na obrázku 27 lze pozorovat, jak po svařování s vysokým svařovacím napětím vznikla nepěkná a těžko odnímatelná struska.

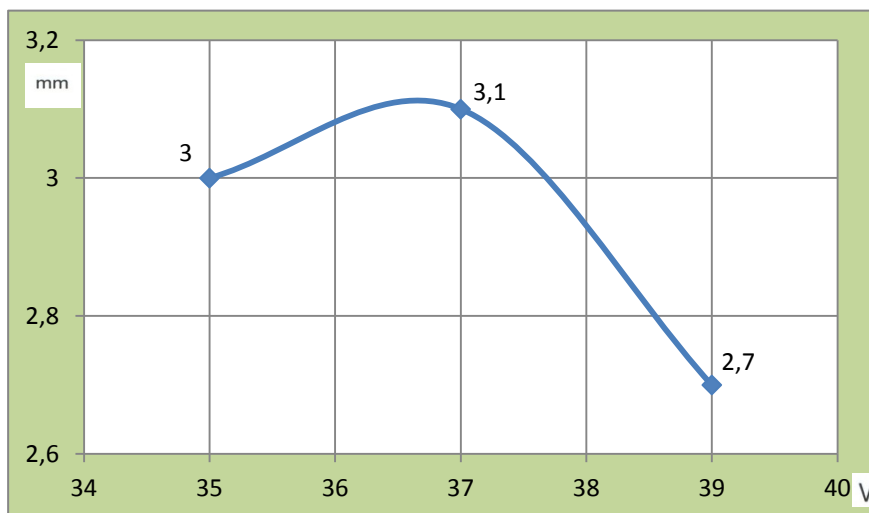


Obr 27. Zkušební deska svařována s vysokým svařovacím napětím

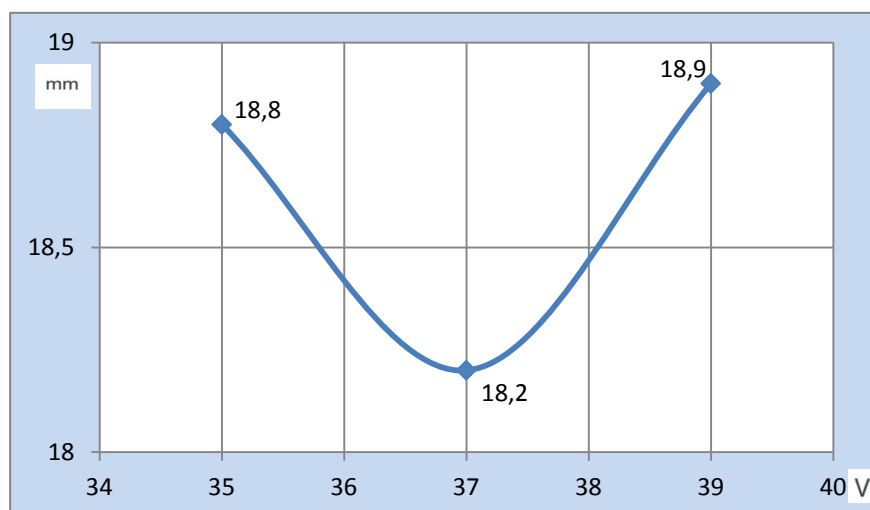


Obr 28. Označené místa na druhé zkušební desce

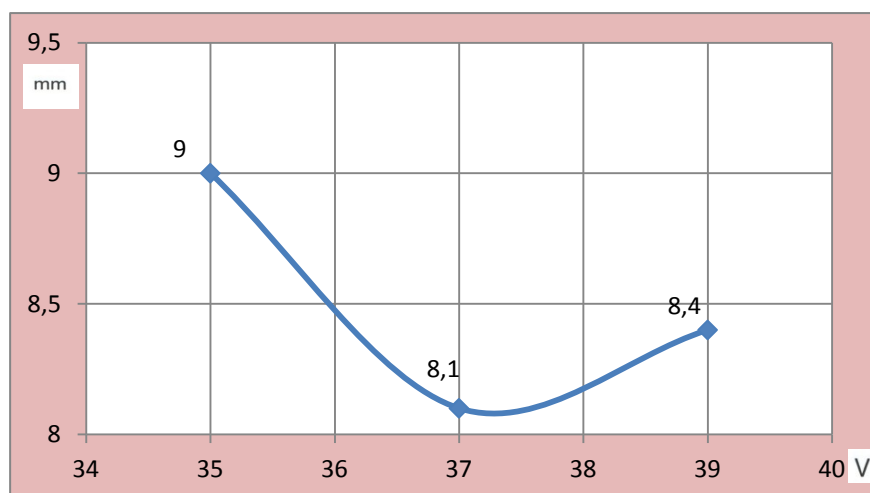
Graf 4: Výška svaru v závislosti na napětí



Graf 5: Šířka svaru v závislosti na napětí



Graf 6: Hloubka závaru v závislosti na napětí



3.5.1 Vyhodnocení zkušební vzorku se změnou svařovacího napětí

Tab. 12: Hodnocení průběhu svařování při změně svařovacího napětí

Vzorek číslo:	Zvuk při hoření oblouku	Odstranitelnost strusky	Stabilita hoření oblouku (kolísání svařovacích parametrů)	Vyhodnocení průběhu svařování	Vliv změny U na průběh svařování oproti používaným svařovacím parametrům:
4.	klidný, šumivý	dobrá	stabilní	svařovací parametry jsou použitelné	běžně používané svařovací parametry
5.	klidný, šumivý	dobrá	stabilní	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna
6.	Neklidný, bublavý	struska šla špatně odstranit	nestabilní hoření; velké kolísání svařovacích parametrů	svařovací parametry nejsou vhodné	svařovací parametry nejsou vhodné; hoření oblouku je neklidné a nestabilní, struska jde špatně dolů, velké kolísání svařovacích parametrů

Tab. 13: Vizuální hodnocení povrchu svaru při změně svařovacího napětí

Vzorek číslo:	Plynulost kresby svaru: (plynulá / nepravidelná)	Kresba povrchu svaru (hladký svar / šípovitý)	Zápal (mm)	Přechod mezi svarem a základním materiálem (plynulý / ostrý)	Vyhodnocení vizuálního hodnocení svaru	Vliv změny svařovacího parametrů na povrch svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:
4.	plynulá	"šípovitý"	0	plynulý	svařovací parametry jsou použitelné	běžně používané svařovací parametry
5.	plynulá	"šípovitý"	0	plynulý	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna
6.	plynulá	"šípovitý"	místní zápal max. 0,4 mm	plynulý	svařovací parametry nejsou vhodné	svařovací parametry nejsou vhodné, vzniká místní zápal

Tab. 14: Měření a hodnocení makrostruktury svarového spoje vzorku 4,5,6

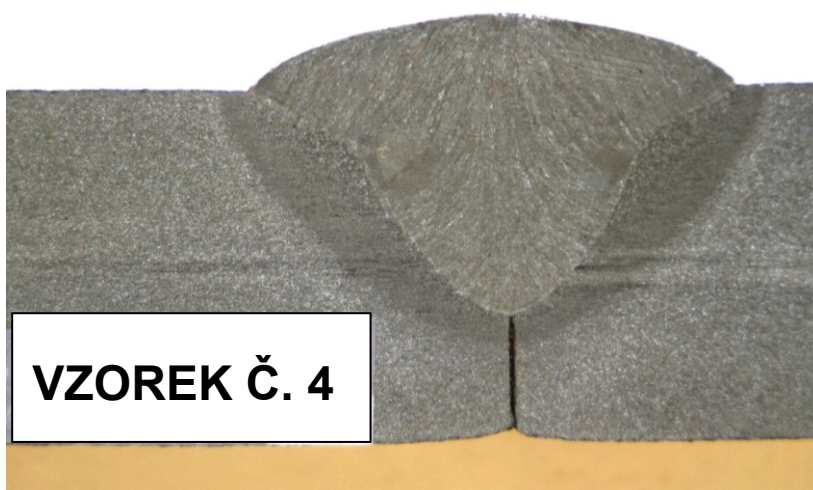
Vzor ek číslo	Vnitřní vady (póry, neprůvary, studené spoje,...)	Šířka svaru	Výš ka svar u	Hloubka závaru (min. 8 mm)	Důležitá změna vyplývající z naměřených hodnot:	Vliv změny U na makrostrukturu svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:
4.	bez vad	18,8	3,0	9,0	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry
5.	bez vad	18,2	3,1	8,1	zvýšení napětí snižuje hloubku závaru a snižuje výšku svaru	hloubka závaru je na spodní hranici, nedoporučuji používat
6.	bez vad	18,9	2,7	8,4	zvýšení napětí snižuje hloubku závaru a snižuje výšku svaru	hloubka závaru je na spodní hranici, nedoporučuji používat

Záznam o měření makrostruktury svarového spoje se nachází v příloze č. 1.

Tab. 15: Celkové hodnocení vlivu svařovacího napětí na vlastnosti svarového spoje

Vzor ek číslo	Promě nný svařov ací param etr:	Vliv změny U na průběh svařování oproti používaným svařovacím parametrům:	Vliv změny U na povrch svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:	Vliv změny U na makrostrukturu svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:	Celkové vyhodnoc ení:
4.	svařova cí napětí	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry
5.	zvýšení svař. napětí	žádná výrazná změna	žádná výrazná změna	hloubka závaru je na spodní hranici, nedoporučuji používat	nevyhovuje
6.	zvýšení svař. napětí	svařovací napětí není vhodné; hoření oblouku je neklidné a nestabilní, struska jde špatně dolů, velké kolísání svařovacích parametrů ;	svařovací napětí není vhodné, vzniká místní zápal	hloubka závaru je na spodní hranici, nedoporučuji používat	nevyhovuje

Fotografie makrostruktury svarového spoje vzorku 4, 5, 6 se nachází na následující stránce. Záznam o měření makrostruktury svarového spoje se nachází v příloze č. 1.



3.6 Svařování se změnou svařovací rychlosti

Zkušební deska č. 3 je připravena na svařování (obr. 29). Během svařování se na zkušební desce měnila rychlost svařování a ostatní parametry zůstaly konstantní. Ze zkušební desky se odebraly tři vzorky, které se vyhodnotily.



Obr 29. zkušební deska č. 3

Před začátkem svařování byly na svařovacím automatu opět nastaveny svařovací parametry odpovídající běžným parametrům pro svařování tupého spoje 8 II. Nastavené parametry ukazuje Tab. 16.

Tab. 16: Nastavené parametry pro tupý svarový spoj 8 II.

Svařovací proud I (A)	Svařovací napětí U (V)	Rychlost svařování (cm/min.)	Výlet drátu (mm)	Sklon svařovacího hořáku (°)
660-680	34-36	61	28	0

Na těchto parametrech se začala svařovat třetí zkušební deska. Začalo svařování od nájezdové destičky rychlostí 61 cm/min. V označeném místě se změnila rychlost svařování ovladačem na hodnotu 68 cm/min a v dalším označeném místě se zvýšila rychlost na 77 cm/min. Svařování se ukončilo na dojezdové destičce.

Nastavené parametry z průběhu svařování třetí zkušební desky ukazuje Tab. 17.

Tab. 17: Nastavené parametry z průběhu svařování 3. zkušební desky

Vzorek číslo:	Svařovací proud I (A)	Svařovací napětí U (V)	Rychlost svařování (cm/min.)	Výlet drátu (mm)	Sklon svařovacího hořáku (°)
7.	660-680	34-36	61	28	0
8.	660-680	34-36	68	28	0
9.	660-680	34-36	77	28	0

Na obr 30. se svařuje zkušební deska se změnou rychlosti svařování. Na obr. 31 lze pozorovat typické zúžení svarové housenky a větší šípovitost při změně rychlosti svařování.

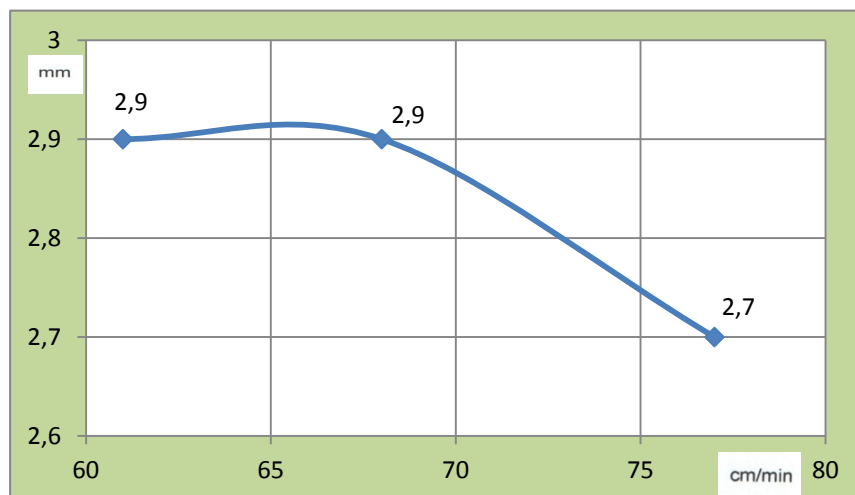


Obr 30. Svařování zkušební desky metodou 121

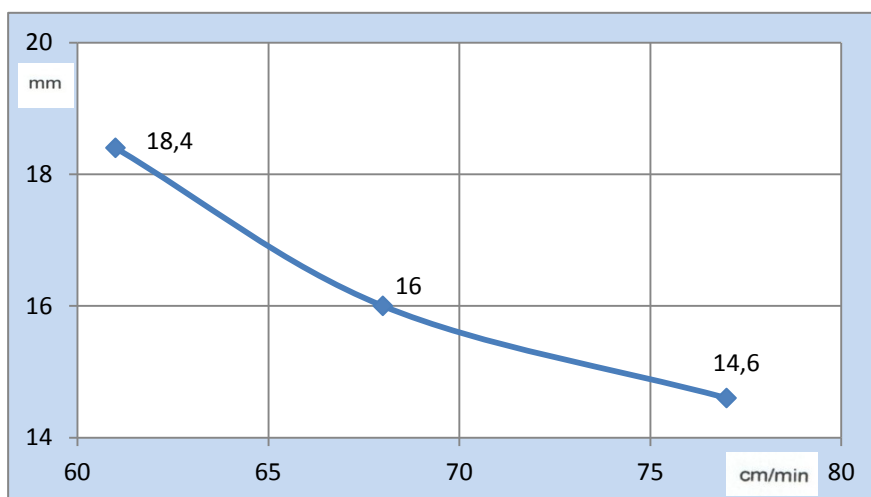


Obr 31. Svařená zkušební deska se změnou rychlosti svařování (zprava do leva)

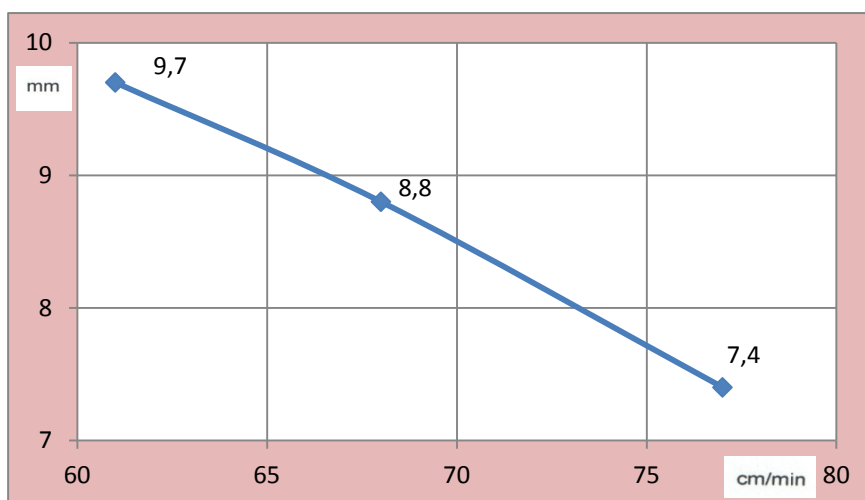
Graf 7: Výška svaru v závislosti na rychlost svařování



Graf 8: Šířka svaru v závislosti na rychlost svařování



Graf 9: Hloubka závaru v závislosti na rychlost svařování



3.6.1 Vyhodnocení zkušebního vzorku se změnou svařovací rychlosti

Tab. 18: Hodnocení průběhu svařování při změně rychlosti svařování

Hodnocení průběhu svařování					
Vzorek číslo:	Zvuk při hoření oblouku	Odstranitelnost strusky	Stabilita hoření oblouku (kolísání svařovacích parametrů)	Vyhodnocení průběhu svařování	Vliv změny v_s na průběh svařování oproti používaným svařovacím parametrům:
7.	klidný, šumivý	dobrá	stabilní	svařovací parametry jsou použitelné	běžně používané svařovací parametry
8.	klidný, šumivý	dobrá	stabilní	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna
9.	klidný, šumivý	dobrá	stabilní	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna

Tab. 19: Vizuální hodnocení povrchu svaru při změně rychlosti svařování

Vizuální hodnocení povrchu svarů						
Vzorek číslo:	Plynulost kresby svaru: (plynulá / nepravidelná)	Kresba povrchu svaru (hladký svar / šípovitý)	Zápal (mm)	Přechod mezi svarem a základním materiálem (plynulý / ostrý)	Vyhodnocení vizuálního hodnocení svaru	Vliv změny v_s na povrch svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:
7.	plynulá	"šípovitý"	0	plynulý	svařovací parametry jsou použitelné	běžně používané svařovací parametry
8.	plynulá	"šípovitý"	0	plynulý	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna
9.	plynulá	"šípovitý"	0	plynulý	svařovací parametry jsou použitelné	žádná výrazná změna

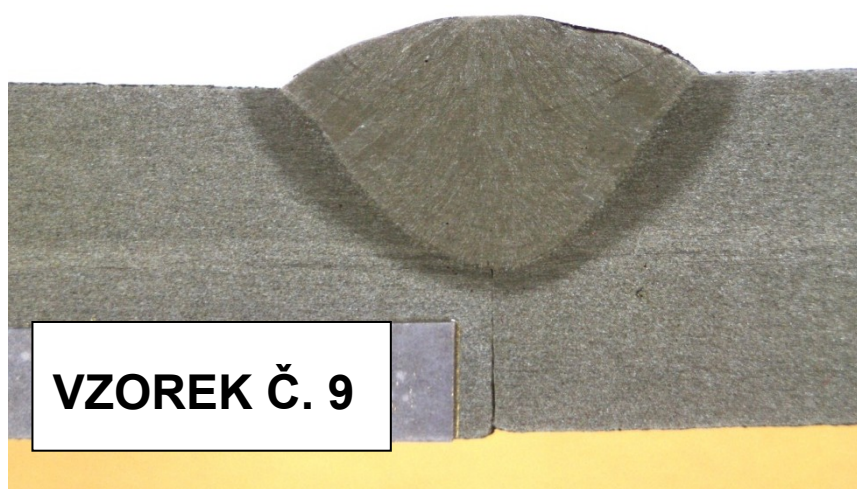
Tab. 20: Měření a hodnocení makrostruktury svarového spoje vzorku 7,8,9

Měření a hodnocení makrostruktury svarového spoje							
Vzorek číslo:	Vnitřní vady (póry, neprůvary, studené spoje, ...)	Šířka svaru	Výška svaru	Hloubka a závaru (min. 8 mm)	Odkaz na foto:	Důležitá změna vyplývající z naměřených hodnot:	Vliv změny v_s na makrostrukturu svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:
7.	bez vad	18,4	2,9	9,7	360/1	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry
8.	bez vad	16,0	2,9	8,8	360/2	zvýšením v_s dojde ke zúžení šířky svaru a ke snížení hloubky závaru,	zúžení šířky svaru při dostatečné hloubce závaru
9.	bez vad	14,6	2,7	7,4	360/3	Zvýšením v_s dojde <u>ke snížení hloubky závaru</u> , ke zúžení šířky svaru a snížení výšky svaru. Zde nebyla dosažena minimální hloubka závaru 8 mm. Nepoužívat!	hloubka závaru je malá, nepoužívat

Tab. 21: Celkové hodnocení vlivu svařovacích parametrů na vlastnosti svarového spoje

Celkové hodnocení vlivu svařovacích parametrů na vlastnosti svarového spoje:					
Vzor ek číslo:	Proměnný svařovací parametr:	Vliv změny v_s na průběh svařování oproti používaným svařovacím parametrům:	Vliv změny v_s na povrch svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:	Vliv změny v_s na makrostrukturu svarového spoje oproti používaným svařovacím parametrům:	Celkové vyhodnocení:
7.	rychlost svařování	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry	běžně používané svařovací parametry
8.	zvýšení rychlosti svař.	žádná výrazná změna	žádná výrazná změna	zúžení šířky svaru při dostatečné hloubce závaru	bylo dosaženo lepších výsledků
9.	zvýšení rychlosti svař.	žádná výrazná změna	žádná výrazná změna	hloubka závaru je malá, nepoužívat	nevyhovuje

Fotografie makrostruktury svarového spoje vzorku 7, 8, 9 se nachází na následující stránce. Měření makrostruktury svarového spoje se nachází v příloze č. 1.



4 Diskuze dosažených výsledků

V praktické části této práce byla snaha optimalizovat svařovací parametry:

1) Svařovací proud

Během svařování na první zkušební desce se zvyšoval svařovací proud a to tak, aby bylo dosaženo většího průvaru. Vycházelo se z běžně používaných svařovacích parametrů pro typ spoje 8 II. 660-680A, 34–36V při rychlosti 61 cm/min.

- a) Dle teorie při zvyšování proudu mělo dojít ke zvýšení závaru.
- b) V experimentální části bylo dosaženo většího závaru a tím lepších výsledků.
 - Dokazuje to vzorek č. 2, kde bylo dosaženo závaru 9.7 mm. při zvýšení proudu na 690-710A.
 - Dokazuje to vzorek č. 3, kde bylo dosaženo závaru 10,1 mm. při zvýšení proudu na 740-760A.

2) Svařovací napětí

Během svařování na druhé zkušební desce se zvyšovalo svařovací napětí. Vycházelo se z běžně používaných svařovacích parametrů pro typ spoje 8 II. 660-680A, 34-36V při rychlosti 61 cm/min.

- a) Dle teorie mělo dojít k rozšíření svaru, ke snížení výšky svaru a také ke snížení hloubky závaru.
- b) V experimentální části se výška a šířka svaru změnila jen nepatrně, ale došlo především k výraznému snížení hloubky závaru. Nebylo dosaženo lepších výsledků.
 - Podstatné snížení výšky svaru nebylo dosaženo.
 - Byla také snížena hloubka závaru.

- Dokazuje to vzorek č. 5, kde bylo dosaženo hloubky závaru 8,1 mm. při zvýšení napětí na 36-38V.
- Dokazuje to vzorek č. 6, kde bylo dosaženo hloubky závaru 8,4 mm. při zvýšení napětí na 38-42V.

3) Rychlost svařování

Během svařování na třetí zkušební desce se zvyšovala rychlost svařování. Vycházelo se z běžně používaných svařovacích parametrů pro typ spoje 8 II. 660-680A, 34-36V při rychlosti 61 cm/min.

- a) Dle teorie mělo dojít ke snížení hloubky průvaru a šířky svaru.
- b) V experimentální části bylo prokázáno, že zvýšením rychlosti se hloubka závaru snižuje. Bylo dosaženo částečně lepších výsledků.

- Dokazuje to vzorek č. 8, kde bylo dosaženo hloubky závaru 8,8 mm. při zvýšení rychlosti na 68 cm/min., přičemž minimální požadovaná hloubka závaru 8 mm byla splněna.
- Dokazuje to vzorek č. 9, kde bylo dosaženo hloubky závaru 7,4 mm. při zvýšení rychlosti na 77 cm/min., přičemž minimální požadovaná hloubka závaru 8 mm nebyla splněna.

Do jisté míry mohly být výsledky v experimentálním pokusu poněkud zkresleny. Mohlo se tak stát při nedodržení absolutní přesnosti dosednutých svarových ploch nebo při použití svařovacího zařízení, na kterém se hůře odečítají svařovací parametry pomocí ručičkového ukazatele.

Závěr

V teoretické části této práce je vypracována studie aplikovatelnosti metody svařování 121 pro různé typy svarových spojů. Jsou také zhodnoceny vlivy svařovacích parametrů a jejich výsledné vlastnosti.

V experimentální části této práce byly svařovací parametry optimalizovány pro tupý svarový spoj 8 II na reálném svarovém spoji. Svarový spoj byl proveden na zkušebních vzorcích o síle 14 mm, aby nedošlo k protavení svařovací podložky při zvyšování svařovacích parametrů

Cílem této bakalářské práce bylo optimalizovat svařovací parametry tak, aby bylo dosaženo zvýšení hloubky průvaru a také snížení převýšení svarového spoje a tím snížení spotřeby svařovacího drátu. Také bylo vhodné optimalizovat svařovací parametry tak, aby se zvýšila produktivita práce, to znamená rychlejší svařování při zachování požadované hloubky průvaru.

Na základě dosažených výsledků lze vyvodit následující závěry:

- používané svařovací parametry lze úspěšně optimalizovat pro zvýšení hloubky závaru. Lze zvýšit jak produktivitu, tak snížit spotřebu svařovacího drátu.
- Byly zjištěny optimální svařovací parametry pro tupý svarový spoj 8 II:
 - z hlediska dosažení vysokého závaru: $I = 740-760\text{A}$, $U = 33-34\text{V}$, $v_s 61\text{ cm/min.}$,
 - z hlediska ekonomického: $I = 690-710\text{A}$, $U = 34-35\text{V}$, $v_s 61\text{ cm/min.}$,
 - z hlediska produktivity práce: $I = 660-680\text{A}$, $U = 34-36\text{V}$, $v_s 68\text{ cm/min.}$
- Bylo zjištěno kritické svařovací napětí: 36-38V při 660-680A a $v_s 61\text{ cm/min.}$
- Byla zjištěna kritická svařovací rychlost: 77 cm/min při 660-680A a 34-36V.
- Z hlediska operativních vlastností bylo zjištěno, že používané svařovací tavidlo OK FLUX 10.72 není příliš citlivé na změnu svařovacích parametrů.

Další zajímavé výsledky v porovnávání svařovacích parametrů by byly při výletu drátu, případně sklonu hořáku nebo množství přidávaného tavidla.

Seznam použité literatury

- [1] *Technická příručka firmy ESAB: Příručka pro svařování pod tavidlem.* 2011, 96 s. Dostupné z:
http://products.esab.com/ESABImages/SAW_CZ2009%282%29.pdf
- [2] *Technologie svařování a zařízení.* Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ. *Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů.* Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-85771-85-3.
- [4] BLAŠKOVIČ, P. *Zvaranie pod tavivom.* Bratislava: alfa, 1978 445 s. ISBN 89764.
- [5] BUREŠ, Jan. *Bezpečnost při svařování.* Česká Třebová: DOM ZO 13, s.r.o, 2001, 57 s. ISBN 10969.

Seznam obrázků

OBR 1.	SVAŘOVÁNÍ POD TAVIDLEM (VLASTNÍ FOTO).....	12
OBR 2.	PRINCIP SVAŘOVÁNÍ POD TAVIDLEM [2]	13
OBR 3.	PRINCIP SVAŘOVÁNÍ NA MĚDĚNÉ PODLOŽCE (VLASTNÍ MODEL)	15
OBR 4.	PRINCIP SVAŘOVÁNÍ NA TAVIDLOVÉ PODLOŽCE PODÉLNÝCH SVAROVÝCH SPOJŮ	16
OBR 5.	PRINCIP SVAŘOVÁNÍ OBVODOVÝCH SVARŮ NA TAVIDLOVÉ PODLOŽCE.....	17
OBR 6.	PRINCIP SVAŘOVÁNÍ NA OCELOVÉ PODLOŽCE	17
OBR 7.	PRINCIP SVAŘOVÁNÍ NA TECHNOLOGICKÉ PODLOŽCE	18
OBR 8.	PRINCIP SVAŘOVÁNÍ TZV. NA ZÁMEK	18
OBR 9.	SVAŘOVÁNÍ S RUČNĚ PODLOŽENÝM KOŘENEM SVARU (VLASTNÍ MODEL)	19
OBR 10.	SVAŘOVÁNÍ KOUTOVÝCH SVARU	20
OBR 11.	CHARAKTERISTICKÉ ROZMĚRY SVARU	22
OBR 12.	VLIV VELIKOSTI SVAŘOVACÍHO PROUDU NA PROFIL SVARU	23
OBR 13.	VLIV VELIKOSTI SVAŘOVACÍHO PROUDU NA ZMĚNU FORMY SVARU	23
OBR 14.	VLIV VELIKOSTI SVAŘOVACÍHO PROUDU NA PROFIL SVARU	24
OBR 15.	VLIV VELIKOSTI NAPĚTÍ NA HLOUBKU PRŮVARU, V_s , 20M/HOD, DRÁT O PRŮMĚRU 5 MM.....	24
OBR 16.	VLIV RYCHLOSTI SVAŘOVÁNÍ NA KOEFICIENT FORMY SVARU	25
OBR 17.	VLIV VÝLETU DRÁTU NA PROFIL SVARU	25
OBR 18.	ÚHEL SVAŘOVACÍ HLAVY.....	26
OBR 19.	TAVIDLO OK FLUX 10.72 (VLASTNÍ FOTO)	29
OBR 20.	SVAŘOVACÍ DRÁT OK AUTROD 12.20 (VLASTNÍ FOTO)	30
OBR 21.	ÚPRAVA POVRCHU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ NA TRYSKACÍM ZAŘÍZENÍ	31
OBR 22.	ZKUŠEBNÍ VZOREK PŘIPRAVENÝ NA SVAŘOVÁNÍ.....	31
OBR 23.	ZKUŠEBNÍ DESKA Č. 1	32
OBR 24.	ZKUŠEBNÍ DESKA NA TAVIDLOVÉ PODLOŽCE	33
OBR 25.	ZAVAŘENÁ ZKUŠEBNÍ DESKA S PROMĚNNÝM SVAŘOVACÍM PROUDEM	33
OBR 26.	ZKUŠEBNÍ DESKA Č. 2	38
OBR 27.	ZKUŠEBNÍ DESKA SVAŘOVÁNA S VYSOKÝM SVAŘOVACÍM NAPĚTÍM	39
OBR 28.	OZNAČENÉ MÍSTA NA DRUHÉ ZKUŠEBNÍ DESCE	39
OBR 29.	ZKUŠEBNÍ DESKA Č. 3	44
OBR 30.	SVAŘOVÁNÍ ZKUŠEBNÍ DESKY METODOU 121	45
OBR 31.	SVAŘENÁ ZKUŠEBNÍ DESKA SE ZMĚNOU RYCHLOSTI SVAŘOVÁNÍ (ZPRAVA DO LEVA)	45

Seznam tabulek

TAB. 1: CHEMICKÉ SLOŽENÍ DRÁTU OK AUTROD 12.20	29
TAB. 2: TYPICKÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI SVAROVÉHO KOVU V KOMBINACI S TAVIDLEM OK FLUX 10.72 A SVAŘOVACÍM DRÁTEM OK AUTROD 12.20	30
TAB. 3: TYPICKÉ CHEMICKÉ SLOŽENÍ SVAROVÉHO KOVU V KOMBINACI S TAVIDLEM OK FLUX 10.72 A SVAŘOVACÍM DRÁTEM OK AUTROD 12.20	30
TAB. 4: SVAŘOVACÍ PARAMETRY PRO SVAŘOVÁNÍ TUPÉHO SPOJE 8 II.....	32
TAB. 5: NASTAVENÉ PARAMETRY Z PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ 1. ZKUŠEBNÍ DESKY	33
TAB. 6: HODNOCENÍ PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ SE ZMĚNOU SVAŘOVACÍHO PROUDU	35
TAB. 7: VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ POVRCHU SVARŮ SE ZMĚNOU SVAŘOVACÍHO PROUDU	35
TAB. 8: MĚŘENÍ A HODNOCENÍ MAKROSTRUKTURY SVAROVÉHO SPOJE VZORKU 1,2,3	36
TAB. 9: CELKOVÉ HODNOCENÍ VLIVU SVAŘOVACÍHO PROUDU NA VLASTNOSTI SVAROVÉHO SPOJE	36
TAB. 10: BĚŽNÉ SVAŘOVACÍ PARAMETRY PRO SVAŘOVÁNÍ TUPÉHO SPOJE 8 II	38
TAB. 11: NASTAVENÉ PARAMETRY Z PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ 2. ZKUŠEBNÍ DESKY	39
TAB. 12: HODNOCENÍ PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ PŘI ZMĚNĚ SVAŘOVACÍHO NAPĚTÍ.....	41
TAB. 13: VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ POVRCHU SVARU PŘI ZMĚNĚ SVAŘOVACÍHO NAPĚTÍ	41
TAB. 14: MĚŘENÍ A HODNOCENÍ MAKROSTRUKTURY SVAROVÉHO SPOJE VZORKU 4,5,6	42
TAB. 15: CELKOVÉ HODNOCENÍ VLIVU SVAŘOVACÍHO NAPĚTÍ NA VLASTNOSTI SVAROVÉHO SPOJE.....	42
TAB. 16: NASTAVENÉ PARAMETRY PRO TUPÝ SVAROVÝ SPOJ 8 II.....	44
TAB. 17: NASTAVENÉ PARAMETRY Z PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ 3. ZKUŠEBNÍ DESKY	45
TAB. 18: HODNOCENÍ PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ PŘI ZMĚNĚ RYCHLOSTI SVAŘOVÁNÍ	47
TAB. 19: VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ POVRCHU SVARU PŘI ZMĚNĚ RYCHLOSTI SVAŘOVÁNÍ	47
TAB. 20: MĚŘENÍ A HODNOCENÍ MAKROSTRUKTURY SVAROVÉHO SPOJE VZORKU 7,8,9	48
TAB. 21: CELKOVÉ HODNOCENÍ VLIVU SVAŘOVACÍCH PARAMETRŮ NA VLASTNOSTI SVAROVÉHO SPOJE	48

Seznam grafů

GRAF 1: VÝŠKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA PROUD.....	34
GRAF 2: ŠÍŘKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA PROUD.....	34
GRAF 3: HLOUBKA ZÁVARU V ZÁVISLOSTI NA PROUD.....	34
GRAF 4: VÝŠKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA NAPĚTÍ.....	40
GRAF 5: ŠÍŘKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA NAPĚTÍ.....	40
GRAF 6: HLOUBKA ZÁVARU V ZÁVISLOSTI NA NAPĚTÍ.....	40
GRAF 7: VÝŠKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA RYCHLOST SVAŘOVÁNÍ.....	46
GRAF 8: ŠÍŘKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA RYCHLOST SVAŘOVÁNÍ.....	46
GRAF 9: HLOUBKA ZÁVARU V ZÁVISLOSTI NA RYCHLOST SVAŘOVÁNÍ.....	46

Přílohy

Příloha č. 1

V příloze se nachází záznam o měření makrostruktury svarového spoje. Jsou zde naměřené hodnoty ze svarového spoje. Výška svaru, šířka svaru a hloubka průvaru v mm. Fotografie jsou v měřítku: 7,5:1.

ZK. DESKA I	VZOREK Č:	FOTO MAKRO
Deska svařována s proměnnám I	1.	358/1
	2.	358/2
	3.	358/3

ZK. DESKA II	VZOREK Č:	FOTO MAKRO
Deska svařována s proměnným U	4.	359/1
	5.	359/2
	6.	359/3

ZK. DESKA III	VZOREK Č:	FOTO MAKRO
Deska svařována s proměnným v_s	7.	360/1
	8.	360/2
	9.	360/3